

文章编号:1673-0291(2008)01-0112-04

# 几种醇类水溶液表面张力的实验研究

陈淑玲<sup>1</sup>,刘鹏飞<sup>1</sup>,朱志强<sup>2</sup>,刘秋生<sup>2</sup>

(1. 北京交通大学 机械与电子控制工程学院,北京 100044;2. 中国科学院力学研究所,北京 100080)

**摘要:**采用 Wilhelmy 吊片法测量了不同浓度下异丙醇、正丁醇、正戊醇水溶液在 25 到 65 温度范围内的表面张力值. 结果显示,在适当的浓度下,当温度超过某确定值时,被测溶液的表面张力随温度升高而增大,并且随着醇类中碳原子个数的增加,这种现象更为明显.

**关键词:**流体力学;表面张力;吊片法;醇

**中图分类号:**O647 **文献标志码:**A

## Experimental Study on Surface Tension of Several Alcohol Aqueous Solutions

CHEN Shuling<sup>1</sup>, LIU Pengfei<sup>1</sup>, ZHU Zhiqiang<sup>2</sup>, LIU Qiusheng<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Electronic Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Experimental measurements of surface tensions have been carried out for 2-propanol, 1-butanol and 1-pentanol aqueous solutions at different concentrations between 25 and 65 by Wilhelmy plate method. The results show a positive surface tension gradient with the temperature when the temperature exceeds a certain value at suitable concentrations, and it becomes more evident when the the number of Carbon atoms of the solute increases.

**Key words:** hydrodynamics; surface tension; plate method; alcohol

气液界面的表面张力是重要的物性参数,它与诸多工业问题密切相关,在微通道两相流以及微重力条件下流体流动研究中更是占有重要地位.由表面张力驱动的流动称为 Marangoni 对流.对于纯物质,静态表面张力随温度的升高而线性递减<sup>[1-2]</sup>,如果气液界面上存在温度梯度,那么温度较高处表面张力相对较小,该处的流体就会被拉着向温度低处流动,从而在界面上形成了由热端指向冷端的流动,即 Marangoni 对流.纯工质热管工作时,工质冷凝后在重力或吸液芯毛细力的作用下由冷端流回热端,这种流动可以保障热管实现连续换热,而液面表面张力梯度引起的 Marangoni 对流是由热端流向冷端,这对热管工作液体的回流是不利的.

对于二元水溶液,表面张力是温度  $T$  和浓度  $c$  的函数,即  $\sigma = f(c, T)$ .在一定温度下,表面张力随浓度的变化关系因溶质种类的不同而不同.对于无机电解质水溶液,表面张力随浓度增加而变大,而有机化合物水溶液则相反,表面张力随浓度增加而减小<sup>[1]</sup>.在给定浓度下,无机电解质水溶液表面张力随温度升高而线性减小<sup>[3]</sup>,而有机化合物由于其分子结构不同,表面张力与温度的关系较为复杂.有学者报道了关于醇类水溶液表面张力与温度的关系,指出在特定浓度下,表面张力在一定温度范围内随温度升高而增大<sup>[4-6]</sup>.文献[5]在 30 ~ 70 温度范围内对将长链醇水溶液作为工质的热管与纯水热管进行了性能对比实验.结果表明,充有二元醇水溶

收稿日期:2007-09-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10772185);中国科学院知识创新工程项目(KGCX-SW-409)

作者简介:陈淑玲(1956—),女,辽宁北镇人,硕士,副教授. email: slchen@bjtu.edu.cn

液的热管较纯水热管性能有很大提高,这是因为在醇水溶液气液界面上表面张力随温度增加而增大,形成了由冷端到热端的流动,称为逆 Marangoni 流动,这种表面运动与吸液芯毛细力的作用一致,加强了工质由冷凝端向蒸发端的流动,充足的工作液体回流可以保证热管的传热性能。

本文作者对异丙醇、正丁醇、正戊醇水溶液在不同浓度下表面张力随温度的变化规律进行了实验研究,以期为进一步研究热管内工作液体的流动特性提供一定的参考。

## 1 实验装置及原理

测量表面张力的方法有多种,本实验采用 Wilhelmy 吊片法,测量仪器为德国 K12 型表面张力测试仪(图 1)。实验装置主要包括吊片、液池、控温水浴、循环水槽。液池置于可上下移动的控温水浴中,控温水浴与 HC-2010 低温恒温槽水浴相连控制被测液体的温度,温度测量采用 MS6501 数字温度表,测量精度为 0.1。

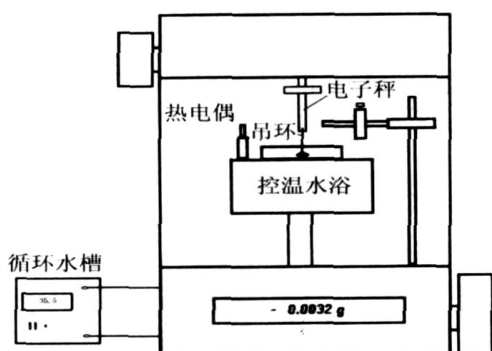


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental facilities

吊片法的测量是由一垂直悬挂着的已知几何形状的铂片完成,测量步骤如图 2 所示。实验前先对仪器进行调平,以保证吊片下边缘与液面平行。测量时液池向上移动,使得吊片的下边缘与待测液体的表

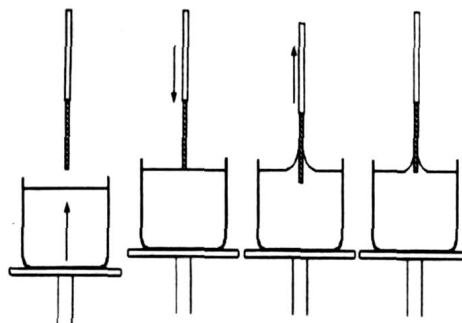


图 2 吊片法测量步骤

Fig. 2 Measuring steps with Wilhelmy plate method

面接触。这时液体沿吊片向上爬升并将吊片拉入液体中少许,测量时将吊片向上移动至液体表面处。

测量过程是静态的,也就是说吊片可随时归零位,这就使表面张力的连续测量成为可能。吊片法的一个优点就是测量出的数值不再需要流体静力学修正。被测液体的表面张力为

$$P_w = \frac{P_w}{l_w \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

式中,  $\sigma$  为表面张力系数,  $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ;  $P_w$  为测得的拉力值,  $\text{N}$ ;  $l_w$  为润湿长度,即吊片水平截面的周长,  $\text{m}$ ;  $\theta$  为吊片表面和润湿线的切线之间的接触角,  $(^\circ)$ 。接触角取  $0^\circ$ ,即  $\cos \theta = 1$  (完全润湿),这时只有粗糙且干净的铂片才能满足此要求,如图 3 所示。表面张力的值可由仪器的液晶屏上直接读出。

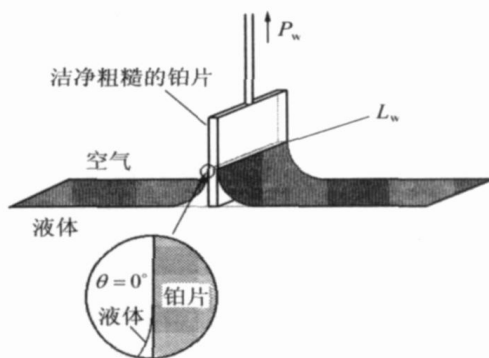


图 3 吊片法测量原理

Fig. 3 Principle sketch of Wilhelmy plate method

## 2 实验方法与验证

由于溶液的表面张力对杂质十分敏感,因此在测量前要对所用玻璃仪器进行彻底清洗。具体做法是先使用丙酮浸泡仪器内壁,然后经去离子水多次洗涤,用电吹风烘干后方可用于实验。配制溶液时用分度值为 0.05 mL 的吸管量取所需醇类至量筒内,然后添加去离子水至 100 mL,充分摇匀后静置。将配好的溶液倒入实验液池,等待液面静止。调节水浴温度,待液池温度稳定后进行测量。每个温度点分别进行 4 次测量,取平均值记录。

实验所用的试剂均为北京化学试剂公司生产的分析纯,一般有机物的表面张力随温度升高而线性减小,实验涉及的 3 种醇类的表面张力与温度满足表 1 所列关联式<sup>[7]</sup>。

为验证试剂的纯度和实验装置的可靠性,分别测定了 3 种醇的表面张力值,与表 1 关联式的计算结果进行对比,如图 4 所示。

实验的环境条件:温度  $27 \sim 30$ ,相对湿度

65%~90%,常压.

表1 表面张力与温度的关系

Tab.1 Relationship between surface tension and temperature

种类	表面张力与温度关系式
异丙醇	$\sigma = -0.0806t + 22.957$
正丁醇	$\sigma = -0.0898t + 27.179$
正戊醇	$\sigma = -0.0875t + 27.544$

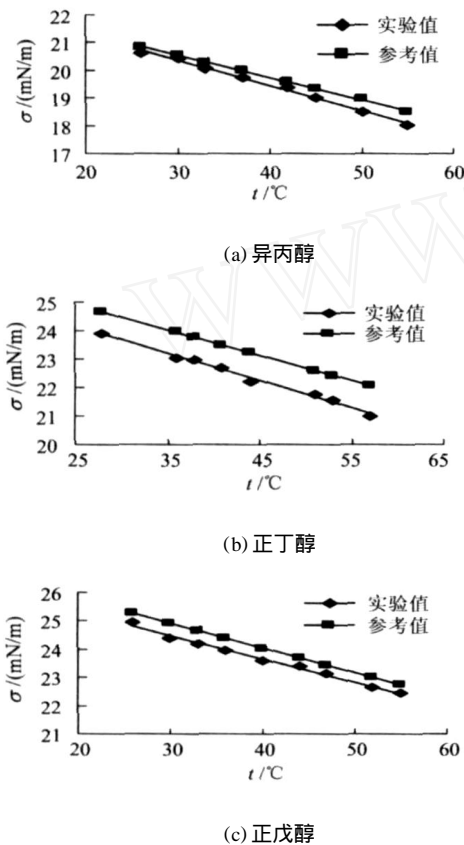


图4 试剂及实验方法的验证

Fig.4 Validation of reagents and method

由异丙醇、正丁醇、正戊醇在 25 ~ 65 范围内表面张力的测量值与计算值对比可知,3 种醇在各温度点的最大相对误差分别为 1.5%、3.5%、1.5%。结果表明,实验值与参考值比较吻合,实验方法及所用试剂纯度可信.溶液用水为去离子蒸馏水,30 时测量其表面张力值为 71 mN/m,符合实验要求.

### 3 实验结果及分析

由于 3 种醇在水中溶解度不同,故在其各自溶解度范围内选取若干个浓度值进行测量.醇类密度小于水,在接近溶解度时,会浮在水面上造成测量失准,因此对更高浓度的溶液未予考虑.通过实验测定,得到不同浓度时 3 种醇类水溶液在 25 ~ 65 范围内的表面张力值,如图 5 中各点所示.

结果表明,在各温度时所测的 3 种醇类表面张力随浓度升高而减小,这与文献[1]结果相符.浓度

很低时(2%异丙醇、1.2%正丁醇、0.7%正戊醇),温度对表面张力的影响不大.而浓度升高时(10%异丙醇、3.7%正丁醇、1.3%正戊醇),表面张力在 25 ~ 45 附近缓慢下降,在某个温度出现最小值,随后表面张力随温度升高而增大.对于不同醇类,不同浓度时,表面张力上升的程度不同.另外,由图中也可看出,随着醇类分子中碳原子个数的增加,表面张力与温度的正相关性更为明显.

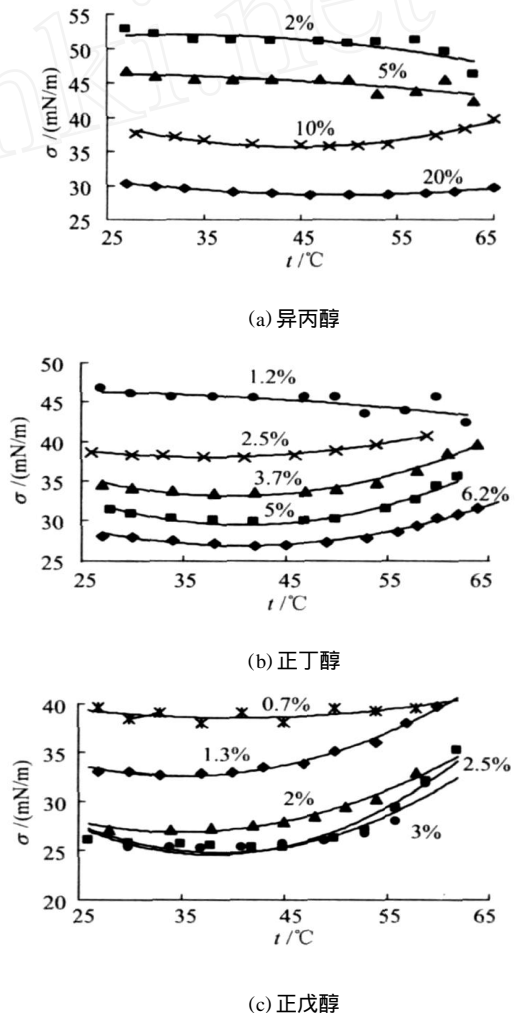


图5 3种醇类水溶液表面张力实验结果

Fig.5 Results of surface tension of three alcohol aqueous solutions

采用最小二乘法将实验结果拟合为二次多项式,表示为

$$\sigma = At^2 + Bt + C,$$

其中 A、B、C 为拟合系数.

表 2 给出 3 种醇水溶液在一定浓度下拟合系数及表面张力达到最小值所对应的温度值  $t_{min}$ .

由于表面张力整体上变化不大,为分析方便,对温度超过  $t_{min}$ ,表面张力随温度提高而增大的区间作线性处理,即近似认为表面张力随温度升高而线性增大.通过计算得到表面张力的温度系数  $\gamma_T$  值,

如表 3 所示.

表 2 几种醇类水溶液的拟合系数及温度

Tab. 2 Coefficients and temperature of several alcohol aqueous solutions

类别	$c / \%$	$A$	$B$	$C$	$t_{\min} /$
异丙醇	2.0	- 0.004 0	0.259	47.832	-
	5.0	- 0.002 0	0.054	45.925	-
	10.0	0.008 7	- 0.774	52.883	44.5
	20.0	0.003 6	- 0.357	37.385	49.6
正丁醇	1.2	- 0.002 0	0.054	45.925	-
	2.5	0.005 7	- 0.424	45.905	37.2
	3.7	0.010 8	- 0.861	50.235	40.0
	5.0	0.012 5	- 1.029	50.577	41.2
	6.2	0.008 5	- 0.692	40.964	40.7
正戊醇	0.7	0.003 9	- 0.310	44.760	39.7
	1.3	0.011 1	- 0.780	46.312	35.1
	2.0	0.010 5	- 0.735	39.719	35.0
	2.5	0.016 7	- 1.268	48.714	38.0
	3.0	0.014 4	- 1.125	46.668	39.0

表 3 几种被测溶液的  $\tau$  值

Tab. 5 Values of  $\tau$  of several measured solutions

类别	体积百分数/ %	$\tau \times 10^4 / [N / (m \cdot K)]$
异丙醇	10.0	1.015
	3.7	4.262
正丁醇	5.0	5.996
	2.5	7.693
正戊醇	3.0	5.551

表 3 中  $\tau$  值均为正值,反映出在取定温度范围内(40 ~ 65 °C),3 种被测醇水溶液的表面张力随温度增加而线性增大,即表面张力与温度呈正相关性.由表 3 中还可看出 2.5 % 的正戊醇水溶液的表面张力温度系数最大,由于反映 Marangoni 效应强弱  $Ma$  数与  $\tau$  成正比,因此,在一定温差作用下,3 种被测溶液中 2.5 % 的正戊醇水溶液能够产生最强的逆 Marangoni 流动.

## 4 结论

1) 在同一温度下,3 种被测醇类水溶液的表面张力随浓度的增加而减小,即表面张力与浓度呈负相关性,醇浓度较低的溶液其表面张力较大.

2) 实验所测 3 种醇水溶液的表面张力在不同浓度下与温度的相关性不同.当浓度很低时,表面张力的大小受温度影响不大;温度升高时,表面张力缓慢

减小.当浓度增加到某个特定范围时,表面张力在某个温度下会出现最小值;大于该温度时,表面张力随温度升高而增大.其中 10 % 的异丙醇水溶液、5 % 的正丁醇水溶液、2.5 % 的正戊醇水溶液在确定的温度范围内表面张力随温度的变化率最大.

3) 随着醇类中碳原子个数的增加,表面张力与温度的正相关性更为明显.

## 参考文献:

- [1] 段世铎,谭逸玲.界面化学[M].北京:高等教育出版社,1990.  
DUAN Shiduo, TAN Yiling. Interfacial Chemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 1990. (in Chinese)
- [2] 黄红云,曹洪亮.液体表面张力系数随温度升高而减小的定量证明[J].常州工学院学报,2006,19(4):51-52.  
HUANG Hongyun, CAO Hongliang. Quantitative Demonstration of Decreasing of Coefficient Surface Tension in Accordance with Temperature Increasing [J]. Journal of Changzhou Institute of Technology, 2006, 19(4): 51 - 52. (in Chinese)
- [3] Ali K, Bilal S, Siddiqi S. Concentration and Temperature Dependence of Surface Parameters of Some Aqueous Salt Solutions[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng. Aspects, 2006(272): 105 - 110.
- [4] Savinoa R, Francescantoniao D N. Heat Pipes with Binary Mixtures and Inverse Marangoni Effects for Microgravity Applications[J]. Acta Astronautica, 2007(61): 16 - 26.
- [5] Romeroa C M, Paez M S, Miranda J A, et al. Effect of Temperature on the Surface Tension of Diluted Aqueous Solutions of 1,2-Hexanediol, 1,5-Hexanediol, 1,6-Hexanediol and 2,5-Hexanediol [J]. Fluid Phase Equilibria, 2007(258): 67 - 72.
- [6] Ginski J, Chavepey G, et al. Untypical Surface Properties of Aqueous Solutions of 1,5-Pentanediol[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng. Aspects, 2000(162): 233 - 238.
- [7] George W Gokel. 有机化学手册[M].第 2 版.张书圣,温永红,丁彩凤,等译.北京:化学工业出版社,2006.  
George W Gokel. Dean's Handbook of Organic Chemistry [M]. 2nd ed. ZHANG Shusheng, WEN Yonghong, DING Cai Feng, et al Transl. Beijing: Chemical Industry Press, 2006. (in Chinese)